

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 9月25日
Date of Application:

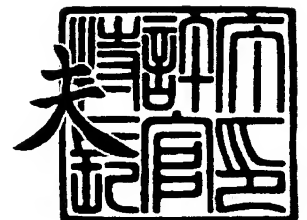
出願番号 特願2003-332957
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP2003-332957]

出願人 富士ゼロックス株式会社
Applicant(s):

2004年 1月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康



出証番号 出証特2003-3110232

【書類名】 特許願
【整理番号】 FE03-02176
【提出日】 平成15年 9月25日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G02F 1/01
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテク なかい 富士ゼロックス株式会社内
 【氏名】 辰浦 智
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテク なかい 富士ゼロックス株式会社内
 【氏名】 田 民権
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテク なかい 富士ゼロックス株式会社内
 【氏名】 古木 真
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテク なかい 富士ゼロックス株式会社内
 【氏名】 岩佐 泉
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテク なかい 富士ゼロックス株式会社内
 【氏名】 佐藤 康郊
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテク なかい 富士ゼロックス株式会社内
 【氏名】 三津 博之
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテク なかい 富士ゼロックス株式会社内
 【氏名】 松原 崇史
【特許出願人】
 【識別番号】 000005496
 【氏名又は名称】 富士ゼロックス株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100079049
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 中島 淳
 【電話番号】 03-3357-5171
【選任した代理人】
 【識別番号】 100084995
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 加藤 和詳
 【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】
【識別番号】 100085279
【弁理士】
【氏名又は名称】 西元 勝一
【電話番号】 03-3357-5171
【選任した代理人】
【識別番号】 100099025
【弁理士】
【氏名又は名称】 福田 浩志
【電話番号】 03-3357-5171
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 006839
【納付金額】 21,000円
【その他】 国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成15年度新エネルギー・産業技術総合開発機構「フェムト秒テクノロジーの研究開発」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの）
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9503326
【包括委任状番号】 9503325
【包括委任状番号】 9503322
【包括委任状番号】 9503324

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

基板表面に、光制御部として少なくとも有機薄膜が形成され、該有機薄膜に信号光と制御光とを照射し光スイッチングを行う光スイッチングデバイスであって、

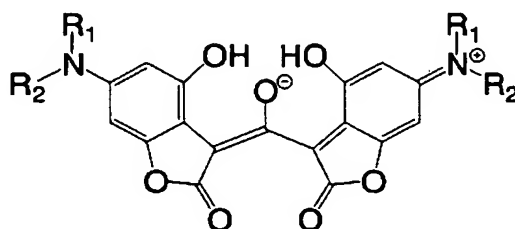
前記光制御部である有機薄膜の吸収スペクトルにおける長波長側の共鳴近傍の領域に前記信号光及び制御光の波長を設定し、該制御光により光制御部の屈折率の実部または実部及び虚部を変化させ、前記信号光に位相差を生じさせることにより光スイッチングを行うことを特徴とする光スイッチングデバイス。

【請求項 2】

前記有機薄膜が、下記一般式 (I) で示される化合物を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の光スイッチングデバイス。

【化 1】

一般式 (I)



前記一般式 (I) 中、R₁ 及び R₂ は同じであっても異なってもよく、各々直鎖アルキル基または分岐アルキル基を表す。

【請求項 3】

前記信号光及び制御光の波長を、前記有機薄膜に含まれる前記一般式 (I) で示される化合物に電子の実励起を生じさせない波長域に設定して、光スイッチングを行うことを特徴とする請求項 2 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 4】

前記信号光及び制御光の中心波長が、共に 1480 nm 以上に設定されることを特徴とする請求項 2 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 5】

前記制御光により光制御部の屈折率を変化させ、前記信号光に位相差を生じさせる際、該信号光の光路における前記有機薄膜を介して両側に、偏光方向を直交させた一対の偏光子を配置することによって光スイッチングを行うことを特徴とする請求項 1 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 6】

前記信号光及び制御光として、 $10^{-12} \sim 10^{-13}$ 秒の範囲の時間幅を有する光パルスを用いることを特徴とする請求項 1 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 7】

前記光制御部として、前記有機薄膜と誘電体薄膜とを積層した多層膜を用いることを特徴とする請求項 1 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 8】

前記誘電体薄膜として、前記有機薄膜との屈折率の差が 0 ~ 0.5 の範囲である誘電体薄膜を用いることを特徴とする請求項 7 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 9】

前記誘電体薄膜として、前記有機薄膜との屈折率の差が 0.5 ~ 1.8 の範囲である誘電体薄膜を用いることを特徴とする請求項 7 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 10】

前記有機薄膜が前記一般式 (I) で示される化合物を含み、前記誘電体薄膜が有機誘電体薄膜及び／または無機誘電体薄膜であることを特徴とする請求項 7 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 11】

前記無機誘電体薄膜として、GeO 薄膜、MgF₂ 薄膜、CaF₂ 薄膜、及び SiO 薄膜のうちから選択される 1 種以上を用いることを特徴とする請求項 10 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 12】

前記多層膜に由来する干渉効果により反射率が極小となる、及び／または、透過率が最大となる波長域近傍に、前記信号光及び／または制御光の中心波長を設定することを特徴とする請求項 9 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 13】

前記誘電体薄膜が、真空蒸着法により形成される無機誘電体薄膜であることを特徴とする請求項 7 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 14】

前記誘電体薄膜が、有機高分子材料を有機溶剤に溶解させた溶液を用い、スピンコート法により形成される有機誘電体薄膜であることを特徴とする請求項 7 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 15】

前記有機薄膜が、前記一般式 (I) で示される化合物を有機溶剤に溶解させた溶液を用い、スピンコート法により形成されることを特徴とする請求項 2 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 16】

前記有機薄膜が、前記一般式 (I) で示される化合物を有機溶剤に溶解させた溶液を用い、スピンコート法により形成されることを特徴とする請求項 10 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 17】

前記信号光及び制御光を、光収束手段により前記光制御部に集光することを特徴とする請求項 1 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 18】

前記信号光及び制御光を、光収束手段により前記光制御部に集光する際に、集光部分の直径を 3 ～ 10 μm の範囲に設定することを特徴とする請求項 17 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 19】

前記光制御部を、独立の複数の領域に分割し、それぞれの領域で並列に光制御を行うことを特徴とする請求項 1 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 20】

前記基板として、フレキシビリティを有するフィルム状の基材を用いることを特徴とする請求項 1 に記載の光スイッチングデバイス。

【請求項 21】

前記光制御部を、光学素子の光入力部及び／または光出力部に形成してなることを特徴とする光学デバイス。

【請求項 22】

請求項 20 に記載の光スイッチングデバイスを、光学素子の光入力部及び／または光出力部に密着させてなることを特徴とする光学デバイス。

【書類名】明細書

【発明の名称】光スイッチングデバイス及び光学デバイス

【技術分野】

【0001】

本発明は、有機薄膜の光通信波長領域における高い非線形光学特性を利用して、光通信波長領域の信号光を、制御光により超高速で光スイッチングする光スイッチングデバイス及びそれを用いた光学デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

光通信波長領域での超高速光スイッチングを可能にする大面積かつ安価な光スイッチ用材料を提供することを目的に、先に本発明者等は、ジベンゾフラノニルメタノラート化合物（後述する一般式（I）で示される化合物）を新たに開発し、同化合物が、 $1.3\mu\text{m}$ 近辺の通信波長帯に光吸収を有し、同波長領域で非常に大きく、かつ超高速の非線形光学応答を示すこと、また、同化合物を用いて通信波長帯で超高速光デバイスを形成することが可能であることを見出した（例えば、特願 2002-99764 号明細書、特願 2002-125772 号明細書参照）。

【0003】

本発明者等は、前記ジベンゾフラノニルメタノラート化合物が有する通信波長帯での光吸収を利用し、電子の実励起を伴う光スイッチを試作し、高速応答特性を確認した。

また、ジベンゾフラノニルメタノラート化合物をはじめとする有機薄膜を用いる光スイッチの特長は、

- 1) 材料・作製プロセスとも安価であるため生産性に優れる、
- 2) 光スイッチの製造・動作ともに常温・大気中で行うことができる、
- 3) 半導体材料では実現が極めて困難な直径数 cm ～ 数十 cm の光スイッチを容易に形成できる、
- 4) 分子修飾による高機能化や、他種材料とのハイブリッド化が容易である、などであった。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、上記光スイッチには、下記のような問題があった。

- a) 吸収変化型（制御光により色素分子を励起させ、光吸収させなくすることにより信号光を透過させる）のスイッチであるため、オフ成分をゼロにするのが困難であり、結果として高いオン／オフ比を達成できない、
- b) 電子の実励起を伴うため、応答速度が電子の緩和時間によって制限される、
- c) 有機薄膜の吸収が小さくなる波長領域では、光スイッチング効率が極めて低下するか、または光スイッチングが不可能である、
- d) 光吸収のある波長域を用いるため、一定の厚さ以上に膜厚を厚くすると、制御光、信号光共に減衰してしまい、高い非線形性や高いスループットの実現が困難である、
- e) 有機薄膜の屈折率が高いため、表面反射による制御光および信号光の損失が生じる。

【0005】

特に、ジベンゾフラノニルメタノラート化合物の薄膜は、通信波長帯で最も汎用的な波長である $1.55\mu\text{m}$ には吸収を持たないため、上記 c) の欠点により $1.55\mu\text{m}$ の波長の光に対しては光スイッチングが不可能であった。

【0006】

本発明は、上記従来技術の問題点を解決することを目的とする。

すなわち、本発明は、本発明者等の先の提案で極めて有効であった前記 1) ～ 4) の特長を維持しながら、上記 a) ～ e) の課題を解決する手段の提供するものである。具体的には、高いオン／オフ比を有し、汎用的な通信波長帯においても応答速度が速く、高い非

線形性や高いスループットを実現できる光スイッチングデバイス、及びそれを用いた光学デバイスを、安価に、かつ容易な手段で提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明では、制御光により光制御部の屈折率の実部または実部及び虚部を変化させ、信号光に位相差を生じさせることにより光スイッチングを行う。その際、特に信号光および制御光の波長を、有機薄膜に電子の実励起をほとんど生じさせない波長域、すなわちほとんど吸収のない波長域に設定することで、従来の光スイッチの性能を大幅に向上できることがわかった。

【0008】

このとき、光制御部に形成される有機薄膜のほぼ透明領域（共鳴近傍の領域）を信号光及び制御光の波長として使うため、主として光制御部の実部の屈折率変化を利用して信号光をスイッチングする。信号光の光路には、偏光方向を直交させた一対の偏光子を、前記有機薄膜を介して両側に配置し、透過光量を最小にする（クロスニコル配置）。そして信号光に対し 45° の偏光角に設定した制御光を、信号光と同時に光制御部に照射する。このとき、制御光により有機薄膜（多層膜）に屈折率異方性が生じ、信号光が直線偏光から楕円偏光に変化する。その結果、信号光の偏光方向と直交方向の透過光成分が現れ、これが光スイッチング出力として観測される。

【0009】

すなわち本発明は、

<1> 基板表面に、光制御部として少なくとも有機薄膜が形成され、該有機薄膜に信号光と制御光とを照射し光スイッチングを行う光スイッチングデバイスであって、

前記光制御部である有機薄膜の吸収スペクトルにおける長波長側の共鳴近傍の領域に、前記信号光及び制御光の波長を設定し、該制御光により光制御部の屈折率の実部または実部及び虚部を変化させ、前記信号光に位相差を生じさせることにより光スイッチングを行うことを特徴とする光スイッチングデバイスである。

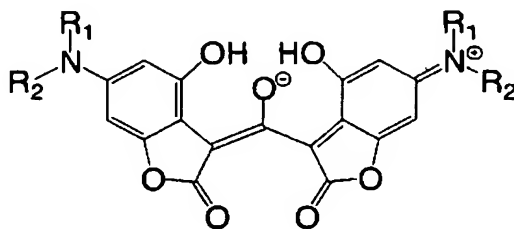
【0010】

<2> 前記有機薄膜が、下記一般式（I）で示される化合物を含むことを特徴とする請求項1に記載の光スイッチングデバイスである。

【0011】

【化1】

一般式（I）



【0012】

前記一般式（I）中、 R_1 及び R_2 は同じであっても異なってもよく、各々直鎖アルキル基または分岐アルキル基を表す。

【0013】

<3> 前記信号光及び制御光の波長を、前記有機薄膜に含まれる前記一般式（I）で示される化合物に電子の実励起を生じさせない波長域に設定して、光スイッチングを行うことを特徴とする<2>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0014】

<4> 前記信号光及び制御光の中心波長が、共に1480nm以上に設定されることを特徴とする<2>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0015】

<5> 前記制御光により光制御部の屈折率を変化させ、前記信号光に位相差を生じさせる際、該信号光の光路における前記有機薄膜を介して両側に、偏光方向を直交させた一対の偏光子を配置することによって光スイッチングを行うことを特徴とする<1>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0016】

<6> 前記信号光及び制御光として、 $10^{-12} \sim 10^{-13}$ 秒の範囲の時間幅を有する光パルスを用いることを特徴とする<1>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0017】

<7> 前記光制御部として、前記有機薄膜と誘電体薄膜とを積層した多層膜を用いることを特徴とする<1>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0018】

<8> 前記誘電体薄膜として、前記有機薄膜との屈折率の差が0～0.5の範囲の誘電体薄膜を用いることを特徴とする<7>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0019】

<9> 前記誘電体薄膜として、前記有機薄膜との屈折率の差が0.5～1.8の範囲の誘電体薄膜を用いることを特徴とする<7>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0020】

<10> 前記有機薄膜が前記一般式(I)で示される化合物を含み、前記誘電体薄膜が有機誘電体薄膜及び／または無機誘電体薄膜であることを特徴とする<7>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0021】

<11> 前記無機誘電体薄膜として、GeO薄膜、MgF₂薄膜、CaF₂薄膜、及びSiO薄膜のうちから選択される1種以上を用いることを特徴とする<10>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0022】

<12> 前記多層膜に由来する干渉効果により反射率が極小となる、及び／または、透過率が最大となる波長域近傍に、前記信号光及び／または制御光の中心波長を設定することを特徴とする<9>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0023】

<13> 前記誘電体薄膜が、真空蒸着法により形成される無機誘電体薄膜であることを特徴とする<7>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0024】

<14> 前記誘電体薄膜が、有機高分子材料を有機溶剤に溶解させた溶液を用い、スピコート法により形成される有機誘電体薄膜であることを特徴とする<7>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0025】

<15> 前記有機薄膜が、前記一般式(I)で示される化合物を有機溶剤に溶解させた溶液を用い、スピコート法により形成されることを特徴とする<2>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0026】

<16> 前記有機薄膜が、前記一般式(I)で示される化合物を有機溶剤に溶解させた溶液を用い、スピコート法により形成されることを特徴とする<10>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0027】

<17> 前記信号光及び制御光を、光収束手段により前記光制御部に集光することを特徴とする<1>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0028】

<18> 前記信号光及び制御光を、光収束手段により前記光制御部に集光する際に、集光部分の直径を $3 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲に設定することを特徴とする<17>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0029】

<19> 前記光制御部を、独立の複数の領域に分割し、それぞれの領域で並列に光制御を行うことを特徴とする<1>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0030】

<20> 前記基板として、フレキシビリティを有するフィルム状の基材を用いることを特徴とする<1>に記載の光スイッチングデバイスである。

【0031】

<21> 前記光制御部を、光学素子の光入力部及び／または光出力部に形成してなることを特徴とする光学デバイスである。

【0032】

<22> <20>に記載の光スイッチングデバイスを、光学素子の光入力部及び／または光出力部に密着させてなることを特徴とする光学デバイスである。

【0033】

以上の手段により、本発明では、前記a)～e)で述べた課題に対し、以下の効果を得ることができる。

A) 光スイッチング出力はゼロバックグラウンドに対するオン出力として観測されるため、クロスニコル配置の精密調整によるバックグラウンドの低減により、吸収変化型スイッチに比べオン/オフ比を大幅に高めることができる。

B) 分子内の電子の実励起を伴わないことから、超高速の応答が実現できる。

C) 電子の実励起を利用しないことから信号光および制御光の波長が膜の吸収波長に制限されず、任意の波長に設定可能である。

D) 吸収のない波長域を用いるため、膜厚を増すことで光との相互作用長を効率良く増やすことができ、実効的なスループットや非線形性を高めることができる。

E) 多層膜化に由来する共鳴効果により、特定の波長で反射率を減少させる、及び／または、透過率を増大させることができる。この波長に信号光または制御光またはその両方を一致させることで、表面反射による光の損失を抑えることができる。

【0034】

すなわち本発明では、前述の1)～4)の光スイッチの特長はそのまま活かされていることから、従来の課題を解決した極めて高性能な超高速光スイッチを提供可能である。なお本発明の要点は、光制御部である有機薄膜の吸収の長波長側における、共鳴近傍の透明領域に制御光、信号光の波長を設定することで、有機薄膜を用いた光制御デバイスの性能を大幅に改善することであり、有機薄膜材料は、特にジベンゾフラノニルメタノラート化合物薄膜に限定されるものではない。

【発明の効果】

【0035】

本発明によれば、広い波長領域で動作可能な超高速光スイッチングデバイス及びそれを用いた光学デバイスを極めて低コストで提供可能である。また、従来採用が困難だった基板材料が使用できる、大面積薄膜材料の提供による新規な構成が採用可能であるなど、超高速光スイッチングシステム形成において寄与するところが極めて大きい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

以下、本発明を詳細に説明する。

<光スイッチングデバイス>

本発明の光スイッチングデバイスは、基板表面に、光制御部として少なくとも有機薄膜が形成され、該有機薄膜に信号光と制御光とを照射し光スイッチングを行う光スイッチングデバイスであって、前記光制御部である有機薄膜の吸収スペクトルにおける長波長側の

共鳴近傍の透明領域に、前記信号光及び制御光の波長を設定し、該制御光により光制御部の屈折率の実部または実部及び虚部を変化させ、前記信号光に位相差を生じさせることにより光スイッチングを行うことを特徴とする。

【0037】

ここで、上記屈折率の実部、虚部とは、吸収性の媒質（化合物）におけるいわゆる複素屈折率の実部、虚部をいい、前記屈折率の実部の変化は前記媒質に吸収されない光成分に基づいて起こるものであり、また、前記屈折率の虚部の変化は前記媒質に吸収される光成分に基づいて起こるものである。

【0038】

この場合、前記屈折率の実部の変化は媒質の吸収に依存せず、変化は制御光の電場の振幅にほぼ追従可能であるため、応答速度が極めて速い。一方、前記屈折率の虚部の変化は媒質の吸収によるため、媒質中の分子の電子の実励起等を伴い、高い非線形性等が得られるものの、応答速度が遅い。

【0039】

本発明においては、前記光制御部である有機薄膜の吸収スペクトルにおける長波長側の共鳴近傍の領域に、前記信号光及び制御光の波長を設定することにより、該制御光による光制御部の屈折率の実部及び虚部の変化の各々の寄与を、応答速度や非線形応答の観点からバランスのとれたものとすることができる。

【0040】

なお、本発明において、前記「有機薄膜の吸収スペクトルにおける長波長側の共鳴近傍の領域」とは、有機薄膜の吸収スペクトルの長波長側（吸収極大より長波長側）の吸収端近傍の波長領域をいい、具体的には長波長側の吸光度が多くとも0.3以下となる波長領域をいう。

また、前記「屈折率の実部を変化」に関しては、上記波長領域で信号光及び制御光を有機薄膜に照射した場合、屈折率の虚部の変化を完全に0とすることは困難であるため、上記虚部の変化がほとんどなく実質的に実部の変化のみの場合をいう。

【0041】

下記では本発明の一例として、数百フェムト秒（fs： 10^{-15} 秒）のパルス幅を持つレーザを信号光および制御光に用い、ジベンゾフラノニルメタノラート化合物薄膜およびその多層膜を光制御部とし、通信波長帯の $1.55\mu\text{m}$ 光について高効率かつ超高速の光スイッチングデバイスについて説明する。

【0042】

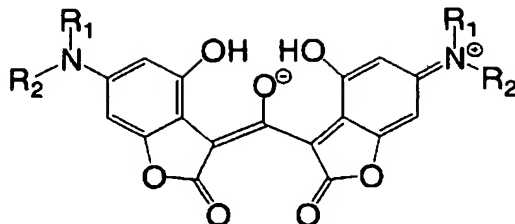
図1に、本発明の光スイッチングデバイスの構成の一例の概略を示す。

図1において、まず、信号光1および制御光5の波長として、光制御部3（有機薄膜）の有機薄膜での吸収がほとんどない透明領域（吸光度が0.01程度のときの波長）での波長を選んだ場合について、その動作を説明する。光ファイバなどにより伝送された信号光1（主として波長が $1.55\mu\text{m}$ ）は、平行光に変換され、偏光子2により直線偏光にされた状態で光制御部3に照射される。光制御部3は、下記一般式（I）で示される化合物を含む有機薄膜または該有機薄膜と誘電体薄膜の多層膜から構成されている。

【0043】

【化 2】

一般式 (I)



【0044】

前記一般式 (I) 中、 R_1 及び R_2 は同じであっても異なってもよく、各々直鎖アルキル基または分岐アルキル基を表す。

【0045】

制御光 5 がない状態では、偏光子 2 に対してクロスニコル配置に設定された検光子 4 により信号光 1 はブロックされるため、透過光成分は観測されない (オフ状態)。

【0046】

次に、信号光 1 に対し 45° の傾きを持つ直線偏光である制御光 5 を、信号光 1 と同期させて光制御部 3 に照射する。通常は、信号光 1 および制御光 5 とともにレンズ等の光収束手段を介して集光し、光制御部 3 上の同一点に重ねられる。このとき、信号光 1 および制御光 5 を集光するための光収束手段としては、同一のものでもよいし、異なるものでもよい。

【0047】

ここで、「信号光 1 と同期」させるとは、信号光 1 から抽出された、制御すべき直線偏光パルスの少なくとも一部と同時に光制御部 3 に照射されるように、タイミングを合わせて制御光 5 のパルスが照射されることをいう。

【0048】

前記光収束手段により収束された信号光 1 及び制御光 5 の集光部分の直径は、 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲であることが好ましく、 $4 \sim 6 \mu\text{m}$ の範囲であることがより好ましい。集光部分の直径が $3 \mu\text{m}$ に満たないと、制御光 5 と信号光 1 との重なりが不充分となる場合があり、 $10 \mu\text{m}$ を超えると、スイッチングに必要な制御光 5 の光強度が大きくなる場合がある。

【0049】

制御光 5 により誘起された非線形光学効果により、光制御部 3 に、制御光 5 の偏光方向とそれに直行する方向の間で屈折率の差 (屈折率異方性) が生じる。この屈折率異方性により、信号光 1 は光制御部 3 を通過する間に楕円偏光に変換される。すなわち、この場合には制御光 5 により光制御部 3 の屈折率の実部を変化させ、前記信号光 1 に位相差を生じさせている。

【0050】

なお、上記信号光 1 と制御光 5 とには共にパルス状の光を使用する。高い非線形性能を実現するには強い光強度が必要であることから、用いる光パルスは $10^{-12} \sim 10^{-13}$ 秒の範囲の短い時間幅であることが好ましい。

【0051】

最終的に、前記楕円偏光中の検光子 4 と一致した方向成分のみが出力として観測される (オン状態)。こうして形成された光スイッチングデバイスは、前述の A) ~ E) の特徴を有する。すなわち、高いオン/オフ比、超高速応答、任意の動作波長設定、及び高いスループットと低い駆動エネルギーである。

【0052】

次に、信号光1及び制御光5の波長として、光制御部3（有機薄膜）の吸収領域での波長（吸光度で1程度のときの波長）を用いた場合であるが、この場合でも図1と同じ構成で光スイッチングを行うことが可能である。このときは、前記屈折率異方性に加え、吸収の異方性の効果も利用することになる。すなわち、制御光5により光制御部3の屈折率の実部及び虚部を変化させることとなる。

【0053】

ただし、制御光5または信号光1の一部が有機薄膜に吸収されるため、光制御部3の膜厚を増すことでスループットが低下したり、非線形性能の向上が制限される恐れがある。また、電子の実励起を伴うことで電子の緩和時間が応答時間に影響を及ぼすようになり、結果的にスイッチング速度が低下する可能性が考えられる。

本発明においては、前記のように、制御光5により光制御部3の屈折率の実部だけでなく、実部及び虚部を変化させる方法を採用することができるが、上記のような光スイッチングデバイスの特性を考慮すると、有機薄膜に含まれる化合物に電子の実励起を生じさせず、主として光制御部3の屈折率の実部の変化を利用した光スイッチングデバイスが好ましい。

【0054】

そして、本発明においては、前記式（I）で示される化合物を有機薄膜とした場合、上記のように光制御部3の屈折率の実部の変化を利用した光スイッチングデバイスとするためには、信号光1及び制御光5の中心波長が、共に1480 nm以上に設定されることが好ましく、1520 nm以上に設定されることがより好ましい。設定波長が1480 nm以上であれば、前記式（I）で示される化合物の吸収がほとんどない領域となり、実質的に屈折率の実部の変化のみを利用することができる。

【0055】

なお、前記光制御部3の屈折率の変化における実部の変化と虚部の変化との寄与の割合は、Zスキャン法などにより光制御部3の非線形屈折率の実部と虚部とを独立に測定することにより見積もることができるが、屈折率の変化全体に対する実部の変化の割合（実部の変化／全体の変化）は、60～100%の範囲であることが好ましく、90～100%の範囲であることがより好ましい。

【0056】

（光制御部）

次に、前記光制御部3の構成について説明する。

－基板－

前記基板としては、ガラス、石英、サファイア及びプラスチック等の材料を用いることができる。なお、基板としてフレキシビリティを有するフィルム状の基材を用いれば、後述するように、フレキシブルな光スイッチングデバイスを得ることができる。また反射型のデバイス構成にする場合は、金、銀、アルミニウムなどの金属基板、またはそれらを上記基板上に真空蒸着などすることで形成した反射性の基板を使用することができる。

【0057】

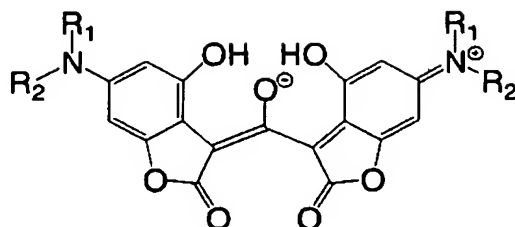
－有機薄膜－

光制御部3に用いられる有機薄膜材料としては、特に限定されないが、吸収極大が1.3 μ m付近にあり、長波長側の吸収端が1400 nm以上にまで伸びている点、わずかな吸収でも大きな非線形光学特性が得られる等の観点から、下記一般式（I）で示される化合物（ジベンゾフラノニルメタノラート化合物）を用いることが好ましい。

【0058】

【化3】

一般式 (I)



【0059】

上記一般式 (I) において、 R_1 および R_2 は同じでも異なってもよく、それぞれ、直鎖アルキル基または分岐化したアルキル基を示し、炭素数 1～7 の直鎖アルキル基または分岐化した炭素数 3～7 のアルキル基が好ましい。具体的には、メチル基、エチル基、*n*-プロピル基、*n*-ブチル基、イソプロピル基、イソブチル基、*sec*-ブチル基または *tert*-ブチル基がより好ましく、*n*-プロピル基、*n*-ブチル基、イソプロピル基、イソブチル基または *sec*-ブチル基が特に好ましい。

【0060】

この化合物は、1.1 μm 付近に極大吸収を示し、従来の長波長吸収色素のように共役系を過剰に延長することなしに、大きくその吸収波長を長波長化することができる。また、高い熱安定性、アセトンやクロロホルム等の有機溶剤に対する良好な溶解性および成膜性を有し、さらに昇華性等の点でも優れている。

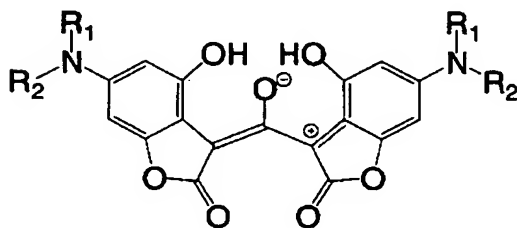
【0061】

また、本発明における一般式 (I) で示される化合物は、下記の構造式で示されるような構造をとりうる。

この構造式で示される化合物は、前記一般式 (I) で示される構造式を有する化合物の持つ前述のごとき特性と、同じ特性を有する。

【0062】

【化4】



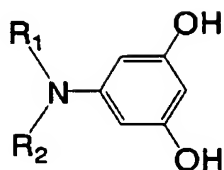
【0063】

一般式 (I) で示される化合物は、下記一般式 (II) で示されるアニリン誘導体と、下記一般式 (III) で示される 4,5-ジヒドロキシー-4-シクロペンテン-1,2,3-トリオンとを反応させる工程を有する製造方法により得ることができる。

【0064】

【化5】

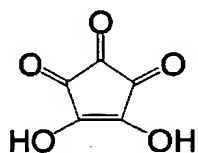
一般式 (II)



【0065】

【化6】

一般式 (III)



【0066】

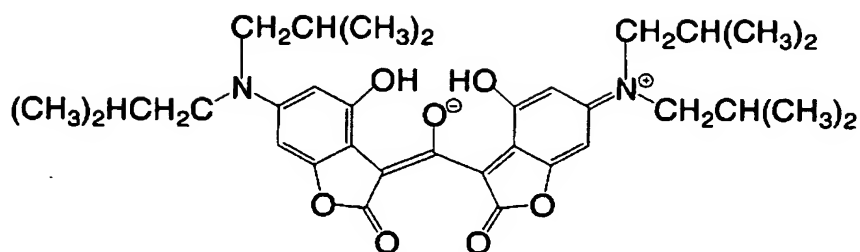
前記一般式 (II) 中、 R_1 および R_2 は同じでも異なってもよく、それぞれ、直鎖アルキル基または分岐化したアルキル基を示す。

本発明において用いる新規な色素化合物の具体例を以下に示す。

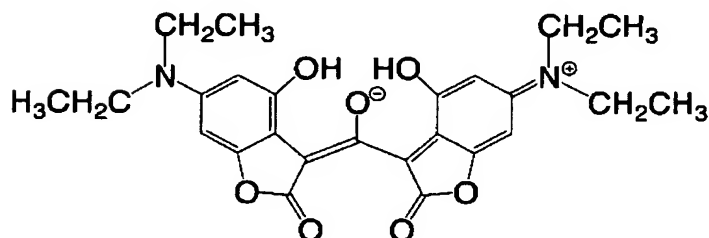
【0067】

【化7】

化合物(1)



化合物(2)



【0068】

本発明における有機薄膜は、前記一般式(I)で示される化合物の有機溶剤溶液を基板に塗布することにより容易に形成することができる。

上記化合物を溶解する溶媒としては、特に限定されないが、ジクロロメタン、クロロホルム、ジクロロエタン、トリクロロエタン、ジクロロプロパン等のハロゲン化炭化水素、ベンゼン、トルエン、キシレン、モノクロロベンゼン等の芳香族炭化水素、メタノール、エタノール、2-プロパノール等のアルコール類、シクロヘキサノン、メチルエチルケトン等のケトン類、テトラヒドロフラン、ジオキサン等のエーテル類、酢酸メチル、酢酸エチル等のエステル類、N, N-ジメチルホルムアミド、N, N-ジメチルアセトアミド等のアミド類、プロピルアミン、ジエチルアミン等のアミン類を用いることができる。これらの中でも、ハロゲン化炭化水素およびアルコール、具体的には、クロロホルム、ジクロロエタン、ジクロロプロパン、モノクロロベンゼンおよび2-プロパノールが好ましく、ジクロロエタンおよびジクロロプロパンが特に好ましい。

【0069】

また、上記化合物の溶液中の濃度は0.1~5質量%の範囲であることが好ましく、0.3~4質量%の範囲であることがより好ましい。濃度をこの範囲とすることにより、良質の会合体を形成することができる。

得られた溶液を基板上へ塗布する方法としては、従来より知られた方法を用いることが

でき、例えば、バーコート法、スピンコート法、キャストコート法、ディップコート法等を挙げることができるが、本発明においては、厚みの均一な薄膜を形成する観点からスピンコート法で行うことが好ましい。

なお、有機薄膜の厚さは、用途によっても異なるが、200～900 nm程度の範囲であることが好ましい。

【0070】

—多層膜—

次に、本発明における多層膜について説明する。

材料の実効的な非線形性能を向上させるには、光との相互作用長を大きくするのが効果的である。薄膜の場合には膜厚を増加させればよいが、有機化合物を含む薄膜材料では、一般に膜厚を増加させると膜質が低下する傾向があり、前記一般式 (I) で示される化合物 (ジベンゾフラノニルメタノラート化合物) を含む有機薄膜でも例外ではなかった。これは、膜厚が増加すると、ウェットプロセスでの製膜時に乾燥過程が不均一になるのが原因と考えられる。

【0071】

本発明者等は今回、有機薄膜を誘電体薄膜と積層構造 (多層膜) にすることで、有機薄膜の膜質を低下させずに実効的膜厚を増加させることができることを見出した。

図2に基板表面に形成された多層膜の断面図を示す。該多層膜の製法としては、まず、ガラス等の基板10の表面に有機薄膜11を形成する。次に、その表面に誘電体薄膜12をドライプロセスまたはウェットプロセスで形成する。ウェットプロセスで形成する場合は、有機薄膜11を損傷しない溶媒を選択する必要がある。さらにその表面に有機薄膜11を形成し、このような方法による有機薄膜11の形成をN回繰り返すことで有機薄膜11の実効的膜厚を増加させる。

【0072】

このとき、各々の有機薄膜11は膜質の低下が生じない程度の膜厚で作製することが望ましく、50～300 μm 程度であることが好ましい。また、誘電体薄膜12は、その表面にさらに有機薄膜11をウェットプロセスで形成した際に、溶媒の下層への染み込みを抑え、下層の有機薄膜11に損傷を生じさせない程度の膜厚で形成することが望ましく、600～1200 μm 程度であることが好ましい。さらに、最表面の層を誘電体薄膜12にすることで、有機薄膜11の大気との接触を防ぎ、性能の劣化を抑えることができる。

【0073】

なお、前述のような本発明における光スイッチング特性を効率的に得るためには、前記有機薄膜が、前記一般式 (I) で示される化合物を含むことが好ましく、また、前記多層膜における有機薄膜11の積層数は、3層以上であることが好ましい。

【0074】

前記有機薄膜／誘電体薄膜の多層膜を形成する場合、干渉効果を利用しない方法と積極的に利用する方法とが考えられる。干渉効果を利用しない場合は、誘電体薄膜12として有機薄膜11との屈折率差が小さい材料を選ぶ。このとき、有機薄膜—誘電体薄膜間での反射は小さくなるため、誘電体薄膜12の光学的影響を最小限にすることができる。その結果、有機薄膜11のみを単純に積層した場合に近い状態が実現できる。この場合の利点として、吸収スペクトルに特定の構造が現れないため、信号光と制御光とを広い波長域で選択できるという点が挙げられる。

【0075】

上記のような効果を得るために、前記誘電体薄膜12と有機薄膜11との屈折率の差は0～0.5の範囲であることが好ましく、0～0.3の範囲であることがより好ましい。

【0076】

一方、逆に干渉効果を積極的に利用する場合は、誘電体薄膜12として有機薄膜11との屈折率差が大きい材料を選ぶ。このときは有機薄膜—誘電体薄膜間で大きな反射が生じるため、ブラッグ反射により多層膜中に定在波が形成される。この定在波は、光学的には材料の透明波長域において透過および反射スペクトルに周期構造をもたらす。特定の波長

で反射率が低下、透過率が増大するため、信号光、制御光またはその両方をそれらの波長に合わせることで、信号光および制御光の反射成分を抑制し、エネルギーを効率的に利用することが可能になる。

【0077】

このようにして、本発明における多層膜に由来する共鳴効果により、特定の波長で反射率を減少させることができ、信号光及び／または制御光の表面反射による光の損失を抑えることができる。

そして上記効果を有効に得るためには、前記誘電体薄膜12と有機薄膜11との屈折率の差は0.5～1.8の範囲とすることが好ましく、0.8～1.2の範囲とすることがより好ましい。

【0078】

ただ、この場合、多層膜に吸収があると前記効果が低下する。また、反射率が低下し、透過率が増大する波長は、各々の有機薄膜、誘電体薄膜の膜厚と屈折率とにより決定されるため、使用波長に合わせてそれらを精密に制御する必要が生じる。さらに、積層数が増加するに従いスペクトル中の周期構造の周期が短くなるため、信号光および制御光の波長幅、並びに波長ずれに対する制限が厳しくなってくる。

【0079】

このように干渉効果を利用する場合、利用しない場合の両方に特長があるため、使用目的に応じて最適の材料選択と構造設計を行うことが重要になる。なお、この手法は、光制御部である有機薄膜に用いる材料の性能を向上させるために、他の有機薄膜材料に対しても容易に拡張可能であり、有機薄膜に含まれる材料としては、特に前記一般式(I)で示される化合物に限定されるものでないことはもちろんである。

【0080】

前記誘電体薄膜12としては、前述の有機薄膜11との屈折率の差が好ましい範囲である有機誘電体薄膜や無機誘電体薄膜を用いることができる。

上記無機誘電体薄膜としては、特に制限はないが、GeO薄膜、MgF₂薄膜、CaF₂薄膜、及びSiO薄膜のうちから選択される1種以上を用いることが好ましい。このうち、前記一般式(I)で示される化合物を含む有機薄膜の屈折率が2.47程度であることから、前記有機薄膜との屈折率との差が小さいものとしてGeO薄膜(屈折率:2.21)を用いることが好ましい。また、前記有機薄膜との屈折率が大きいものとしてCaF₂薄膜(屈折率:1.22)、MgF₂薄膜(屈折率:1.32)、SiO薄膜(屈折率:1.52)を用いることが好ましい。

【0081】

これらの無機誘電体薄膜は、製膜性や膜厚制御の容易性等の観点から、ドライプロセスで製膜することが好ましく、特に真空蒸着法により製膜することが好ましい。

【0082】

また、前記有機誘電体薄膜としては、ポリビニルアルコール(屈折率:1.51)等の水溶性ポリマー、ポリメチルメタクリレート、ポリビニルカルバゾール、ポリカーボネート、ポリ塩化ビニルなどの有機高分子材料を用いることができ、誘電体薄膜12として製膜性や前記好ましい屈折率の観点から、適宜選択して用いられる。

【0083】

前記有機高分子材料を用いる場合は、溶剤として一般式(I)で示される化合物を含む有機薄膜11を損傷しない溶媒を選ぶことが可能なので、このような溶剤に溶解させた溶液を用いて、スピンコート法等のウェットプロセスにより有機誘電体薄膜として形成することが好ましい。

なお、誘電体薄膜12としては、必要に応じて前記無機誘電体薄膜、有機誘電体薄膜のいずれを用いてもよく、また、無機誘電体薄膜及び有機誘電体薄膜を組合わせて用いてもよい。

【0084】

(空間的光分配システム)

本発明においては、前記一般式 (I) で示される化合物を含む有機薄膜、または有機薄膜／誘電体薄膜の多層膜を独立の複数の領域に分割し、それぞれの領域で並列に光制御を行うことで、単一制御光による空間的光分配システムを構築することも可能である。これは、本発明者等が先に提案した超高速光スイッチ材料として、前記有機薄膜を採用したものである（特開平 11-15031 号公報参照）。

【0085】

前記空間的光分配システムの構成及び動作原理を図 3 に示す。共にパルス状の光である信号光 21 および制御光 25 を空間的に展開し、シート状の光とする。これらを前記有機薄膜からなる光制御部 23 へ入射するが、制御光 25 を斜めから入射し、かつ部分的に時間遅延を与えることで、制御光 25 が異なった時間に光制御部 23 の各位置に到達するようにする。この時、制御光 25 が光制御部 23 の各位置に到達する時間と、信号光 21 の各パルスが光制御部 23 に到達する時間を一致させることで、シリアル信号である信号光 23 を単一の制御光により並列複数出力に変換することが可能である。

【0086】

このように、前記有機薄膜を用いることで、前記空間的光分配システムを通信波長帯で動作させることが可能になる。また、本発明者等は、以上述べた動作原理をモジュール化したデバイスに関しても提案しているが（特願 2002-370130 号明細書参照）、同デバイスについても本発明は適用可能であり、実用的に大きな効果が期待される。

【0087】

<光学デバイス>

本発明の更なる特長は、有機薄膜用の材料が結晶性でなく、さらに製膜の際に高温を必要としないので、前記基板として多様な材料が選択できることである。一般的な半導体量子井戸構造の光スイッチングデバイスは、結晶成長を必要とするため、InGaAs または InP などの結晶性基板が必須で、成長温度も 500℃ 以上、もしくは低温成長を特徴とする特殊な材料でも 200℃ 以上を必要としていた。

【0088】

本発明における光制御部である有機薄膜に用いられる材料は、アモルファス状態を特徴とし、前記のように、ガラス板、金属板、さらには高分子フィルムなどの表面に常温で形成可能である。この特長から、レンズ、プリズム等の光学素子の光入力部及び／または光出力部に、光制御部である有機薄膜を形成することができ、上記光学素子に光スイッチング機能を加えた新たな光学デバイスを得ることができる。

【0089】

さらに、前記フィルム状の基材を基板として、その表面に光制御部である有機薄膜を形成することで、光スイッチング機能を備えた光学フィルム（光スイッチングデバイス）を作製することができる。この光学フィルムはフレキシブルな光スイッチとして単独で利用可能であると共に、任意の形状に切り出して任意の光学素子の光入力部及び／または光出力部に密着させる（貼り付ける、または接着させる）ことで、上記光学素子の性能向上または新機能の付加を可能とした光学デバイスを得ることができる。このように、本発明における光制御部である有機薄膜材料は、従来の半導体量子井戸構造の光スイッチ用材料に比べ、より多様な応用に適応可能である。

【実施例】

【0090】

以下、本発明について実施例により具体的に説明する。

まず、下記実施例で用いた一般式 (I) で示される化合物について説明する。図 4 に、各光スイッチングデバイス作製に用いたジベンゾフラノニルメタノラート化合物（以下、「BM4i4i」と略す）の化学式を示す。BM4i4i の合成方法については、文献（M. Tian et al., J. Am. Chem. Soc., 125 (2003), p. 348-349）に詳しいが、以下のようにして合成した。

【0091】

3, 5-ジヒドロキシ-N, N-ジイソブチルアニリン 3.325 g (14.0 mmol)

1) と 4, 5-ジヒドロキシ-4-シクロペンテン-1, 2, 3-トリオン 995 mg (7.0 mmol) とを、1-ブタノール 45 ml とトルエン 135 ml との混合液中に加え、窒素ガスの雰囲気中で攪拌しながら反応液を 95℃まで加熱し、95～105℃にて 15 分間反応させた。反応から生成された水は共沸蒸留により除去した。反応終了後、トルエンおよび 1-ブタノールを減圧蒸留により除去してから、ヘキサン 150 ml を加えた。冷却後、析出した固体を濾過し、ヘキサンで洗浄後、茶紫色固体を得た。

【0092】

この固体は快速カラムクロマトグラフィー（充填剤：中性シリカゲル；展開溶媒：ジクロロエタン、ジクロロエタンとメタノール（体積比 100：1）の混合溶媒）により紫色のフラクションを分取し、黒紫色の固体を得た。この黒紫色の固体は、順次メタノール、アセトンとヘキサンとの混合溶媒、アセトンとメタノールとの混合溶媒から再結晶することにより精製し、乾燥して、図 4 に示す構造式の化合物（黒紫色針状微結晶）301 mg を得た。

【0093】

（光スイッチングデバイスの作製）

上記 BM4 i 4 i を、1～4 質量%の濃度でテトラヒドロフラン（溶剤は 1, 2-ジクロロエタン等の有機溶媒でも可能である）に溶解させた。超音波で 5～10 分間処理した後、0.2～0.5 μm のフィルタでろ過した。この溶液をガラス基板（50 mm×50 mm）表面に滴下し、500～1000 rpm でスピコートし膜厚 210 nm に製膜した（1 層目）。得られた有機薄膜の吸収スペクトルを図 5 に示す。また、別途この BM4 i 4 i 膜の屈折率を、分光エリプソメータ（J. A. WOOLLA M 社製）により測定したところ、2.43 であった。なお、このときの膜厚は 63 nm であった。

【0094】

次に、GeO 薄膜（屈折率：2.21）を誘電体薄膜として選び、BM4 i 4 i / GeO 多層膜を形成し、光スイッチングデバイスを作製した。前記 GeO 薄膜は、真空蒸着法により、製膜速度を 0.3～0.5 nm/sec として 1100 nm の厚さに形成した。さらにこの GeO 薄膜表面に、前記 BM4 i 4 i からなる有機薄膜を 1 層目と同様のスピコート法により形成し 2 層目とした。該 2 層目を形成した際に、1 層目の BM4 i 4 i 膜に損傷は見られなかった。

【0095】

以上のようにして、BM4 i 4 i 膜を GeO 薄膜と交互に 3 層目まで形成し、ガラス基板上に BM4 i 4 i 膜 / GeO 薄膜 / BM4 i 4 i 膜 / GeO 薄膜 / BM4 i 4 i 膜 / GeO 薄膜（最上部の GeO 薄膜は保護層）という構成の多層膜を作製した。

【0096】

（評価）

図 6 に、前記多層膜作製時における 1 層目、2 層目、3 層目まで BM4 i 4 i 膜を形成した時の各々の吸収スペクトルを、信号光、制御光のスペクトルと併せて示す。

上記制御光、信号光としては、チタン・サファイアレーザパルスを再生増幅し、Optical parametric amplifier により波長を通信波長帯の光に変換したもの（信号光の波長：1550 nm、制御光の波長：1630 nm）を用いた。この光のパルス幅は約 100 fs（fs = 10⁻¹⁵ 秒）であった。

【0097】

光制御部として、ガラス基板表面に前記 3 層目まで BM4 i 4 i 膜を形成した多層膜を用い、図 1 に示した光スイッチングシステムの構成により、前記信号光 1 及び制御光 5 の光パルスをレンズ（光収束手段）により光制御部 3 に集光し、信号光 1 をスイッチングした。なお、このときの集光部分の直径は、約 1.7 mm であった。

【0098】

上記光スイッチングシステムの光出力結果を図 7 に示す。図 7 に示すように、制御光強度が 2.31 pJ / μm² のとき、On / Off 比として約 300 (25 dB) が得られた。この結果は、この光スイッチングデバイスが、半導体を用いた反射型光スイッチング

デバイスに比べて同等以上の性能を持つことを示している (R. Takahashi et al., Appl. Phys. Lett. 77 (2000), p. 2958-2960)。また、制御光 5 の散乱成分が極めて小さいことは、前記多層膜の光学的品質の高さを表している。

【0099】

また、前記出力光強度の平方根を制御光強度に対してプロットしたものを図 8 に示す。この結果より、出力光強度の平方根が制御光強度にほぼ比例することから、図 7 に示す出力が Kerr 応答に由来するものであることがわかった。また、前記 BM4 i 4 i 膜を 1 層目まで形成したものに対し、3 層目まで形成したものでは、出力が約 9 倍になっていることから、膜厚増加により期待通りの非線形効果の増大が得られたことがわかる。このことから、積層数を増やすことで、更なるデバイス性能の向上が図れることがわかる。

【0100】

次に、光スイッチングデバイスの応答速度を、制御光の照射タイミングを信号光に比べてわずかに変化させることで調べた。

図 9 に、そのときの光出力の時間応答性を示す。図 9 における各プロットに指数関数でフィッティングをかけ確認したところ、光強度は 200 fs 程度で 90% 以上回復しており、応答は超高速であることがわかった。また、同時にこの光スイッチングデバイスでは、実励起を伴わないことから遅い応答成分も存在しないことがわかった。これらの結果から、本デバイスにより、1 THz ($T=10^{12}$) 以上の繰り返し速度を持つ信号光を、高い On/Off 比でスイッチングすることが可能なことがわかる。

【0101】

上記 BM4 i 4 i 膜を GeO 薄膜を挟んで 3 層積層した多層膜の透過スペクトル、反射スペクトルを、1 層の BM4 i 4 i 膜のスペクトルと併せて図 10 に示す。

1 層膜では透過、反射スペクトル共に、BM4 i 4 i 膜の吸収がほとんどない透明領域でフラットであるが、3 層積層した多層膜ではこの領域に周期構造が現れている。BM4 i 4 i 膜-GeO 薄膜間の屈折率差による界面反射は、1% 程度と小さく干渉には関与しない。周期構造の間隔から、これは膜表面およびガラス基板表面からの反射光の干渉による効果と考えられる。このことから、GeO 薄膜の光学的影響は小さく、内部の多重反射の影響は最小限に抑えることが可能であることがわかる。

【0102】

一方、積層構造を構成する材料間の屈折率差が大きくなると、前記周期構造の振幅が大きくなり、逆に干渉効果を積極的に利用することが有利となる。すなわち、前記図 10 に示す周期構造において、信号光および制御光を反射率が極小の波長に設定することで両光の反射による損失が抑制され、高いスループットと高いスイッチング効率を得られる。

例えば、前記 GeO 薄膜を CaF₂ 薄膜 (屈折率: 1.22) に代えた 3 層膜の場合は、前記 BM4 i 4 i 膜/GeO 薄膜の多層膜に比べ、周期構造の振幅が 3 倍程度となる。BM4 i 4 i 膜及び CaF₂ 薄膜の膜厚を最適化することにより、信号光を 1550 nm、制御光を 1630 nm に設定することが可能で、干渉効果を積極的に利用するための条件が満たされる。実際に同条件で光スイッチングを行ったところ、条件から外れた場合に比べて、80% のスイッチング効率の向上が確認された。

【0103】

以上、本発明について説明したが、本発明の光スイッチングデバイスの特長をまとめると以下ようになる。

第一に、素子のコストが極めて安くすることができる。すなわち、有機薄膜は一般に大量合成により安価に供給でき、また素子の生産プロセスも安価であることから、半導体材料に比べ大幅に低いコストで光学素子が製造可能と予想される。

【0104】

第二に、材料がアモルファスであり、かつ製膜に半導体材料のような高温プロセスを必要としないため、基板材料への制限が少なく、従来は形成が困難だった材料および部品上に光スイッチング薄膜が形成できる。特に、従来材料では作製が困難であったフレキシブ

ルな光スイッチングフィルムが提供可能である。

【0105】

第三に、大面積薄膜を容易に得ることができる。従来の半導体材料ではある程度の大面積化は可能であっても、そのためには大きな真空装置を必要とすることから製造コストが極めて高くなっていた。大面積光スイッチが容易に形成できることで、新たな動作原理に基づく光学デバイスが実現できる可能性がある。

【0106】

このように、本発明の光スイッチングデバイスは、従来の半導体光スイッチと同等以上の性能を提供しつつ、従来の半導体光スイッチにはない特徴を有しており、極めて高い市場価値を提供するものである。なお、前記実施例で示した図1の構成は、原理実証を主目的とした基本的構成によるものである。本発明は前記実施例の構成のみに留まるものではなく、既述の本発明における実施の形態に述べた原理、材料等に基づいて作製された光スイッチングデバイス全般に及ぶものである。

【図面の簡単な説明】

【0107】

【図1】本発明の光スイッチングデバイスの構成に一例を示した概略図である。

【図2】本発明における光制御部の構成の一例を示した断面図である。

【図3】光制御部を複数の独立の領域に分割して動作させる空間的光分配システムの原理を示した概略図である。

【図4】本発明における一般式(I)で示される化合物の一例の分子構造を示した図である。

【図5】本発明における有機薄膜の吸収スペクトルの一例を示した図である。

【図6】多層膜の吸収スペクトルと、制御光および信号光スペクトルとの関係を示した図である。

【図7】本発明の光スイッチングデバイスの出力の一例を示した図である。

【図8】本発明の光スイッチングデバイスにおける制御光強度と出力光強度の平方根との関係を示した図である。

【図9】本発明の光スイッチングデバイスの時間応答特性を示した図である。

【図10】1層膜及び3層膜の透過スペクトル、反射スペクトルを示した図である。

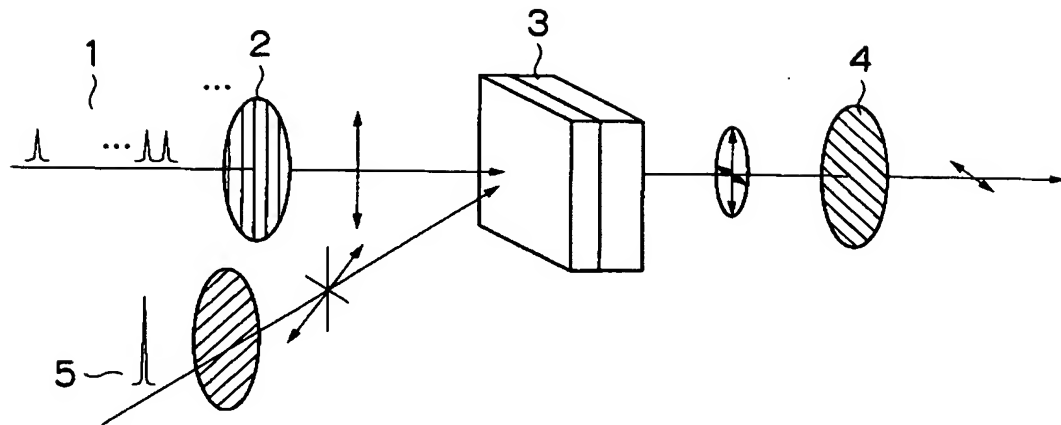
【符号の説明】

【0108】

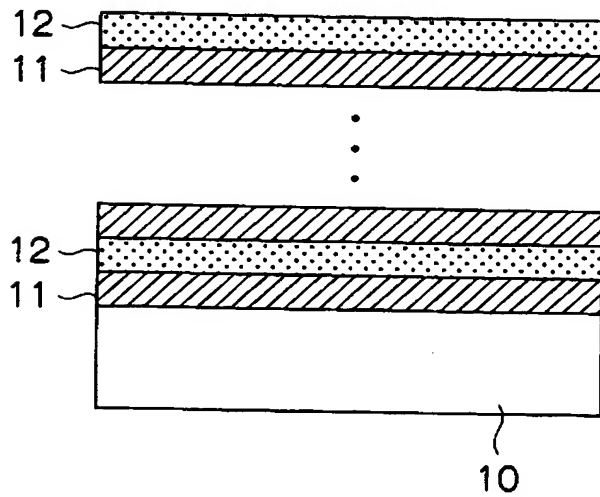
- 1、21 信号光
- 2、22、24、27 偏光子
- 3、23 光制御部
- 4 検光子
- 5、25 制御光
- 10 基板
- 11 有機薄膜
- 12 誘電体薄膜
- 26 光遅延素子
- 28 信号検出部

【書類名】 図面

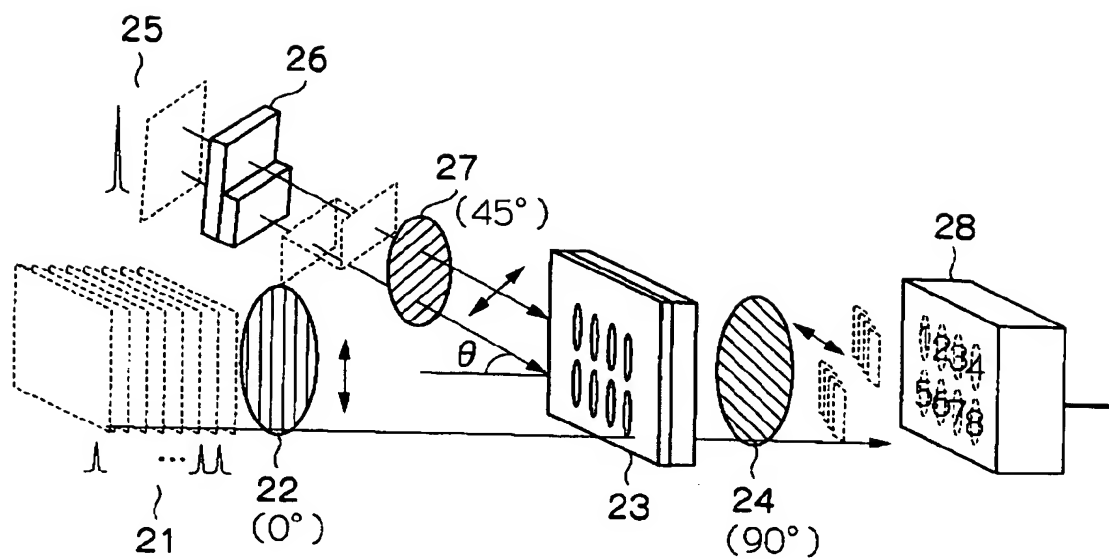
【図 1】



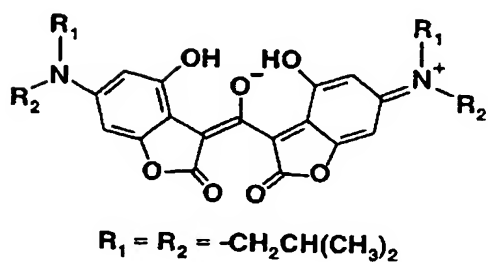
【図 2】



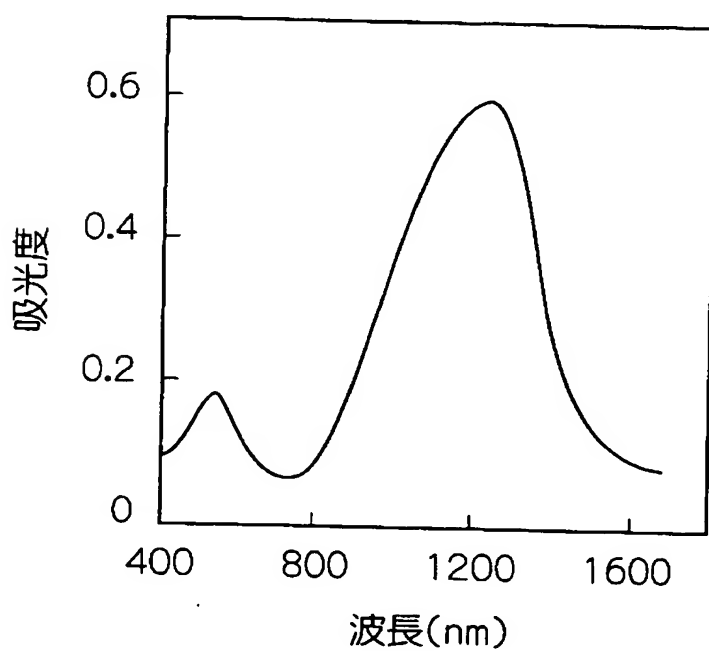
【図 3】



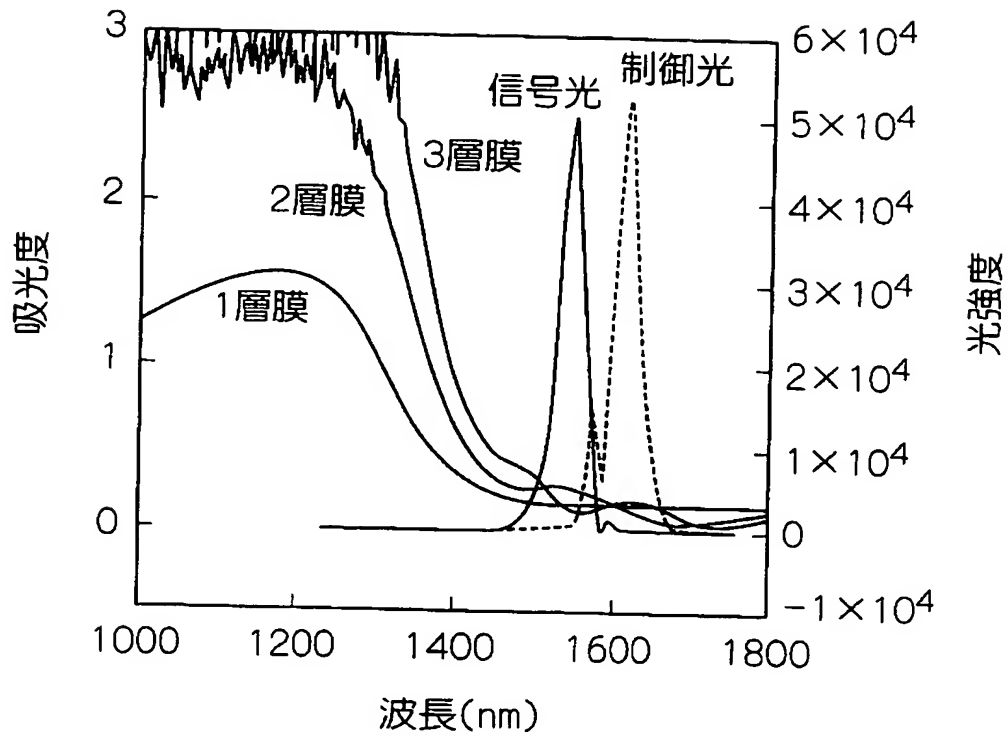
【図 4】



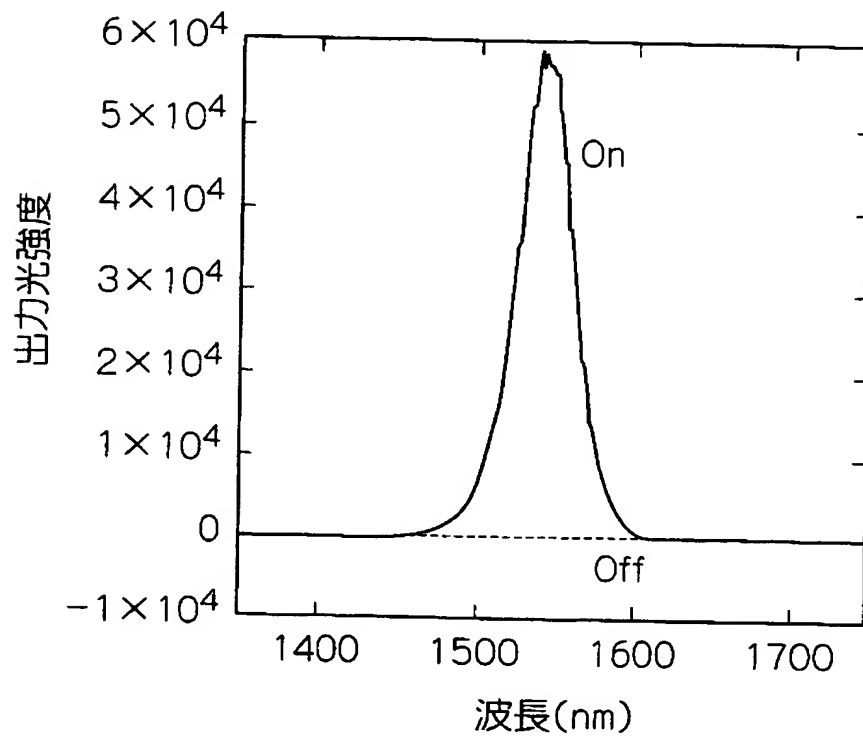
【図 5】



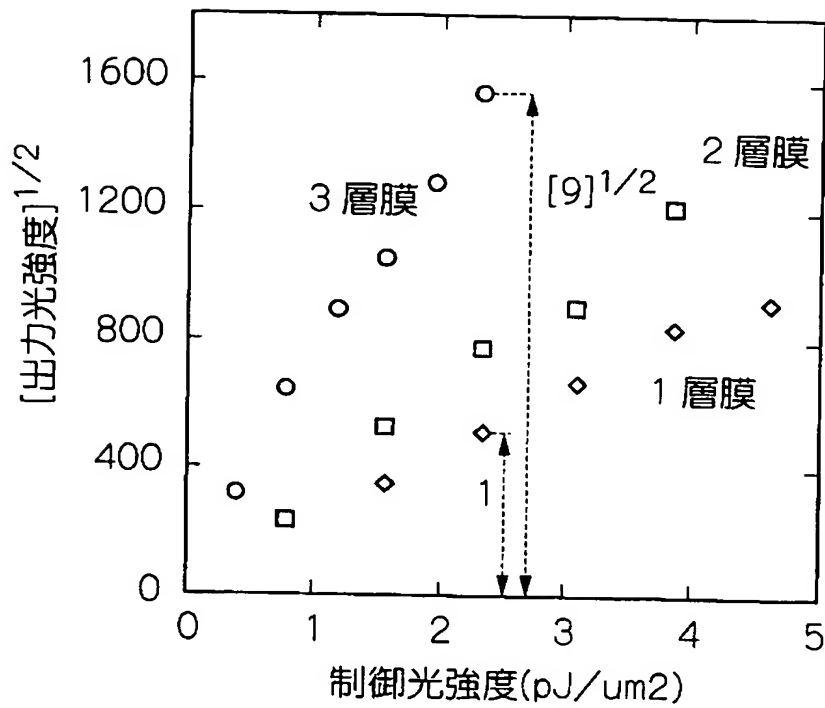
【図 6】



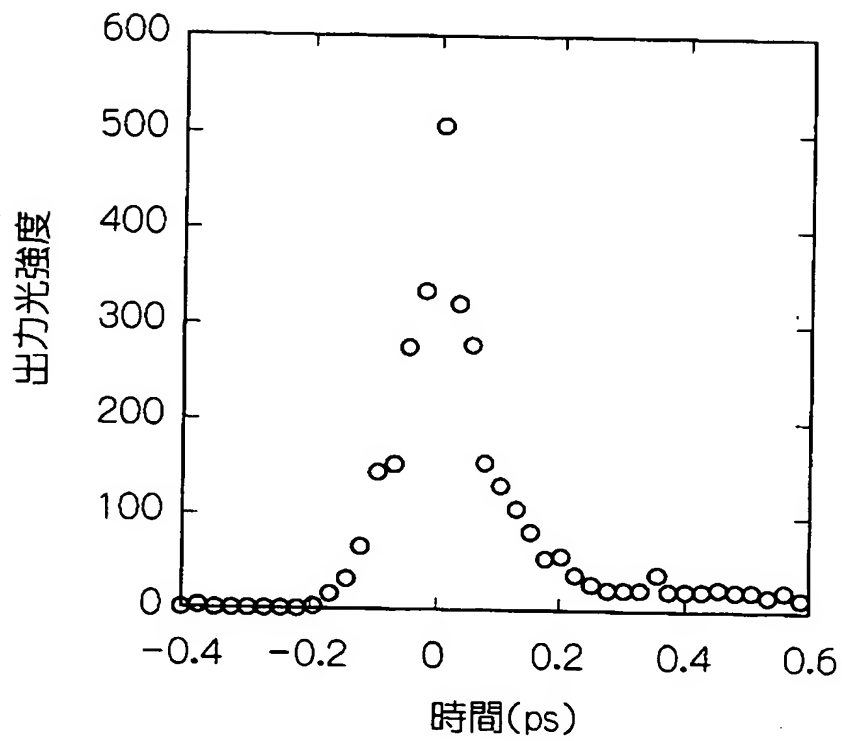
【図 7】



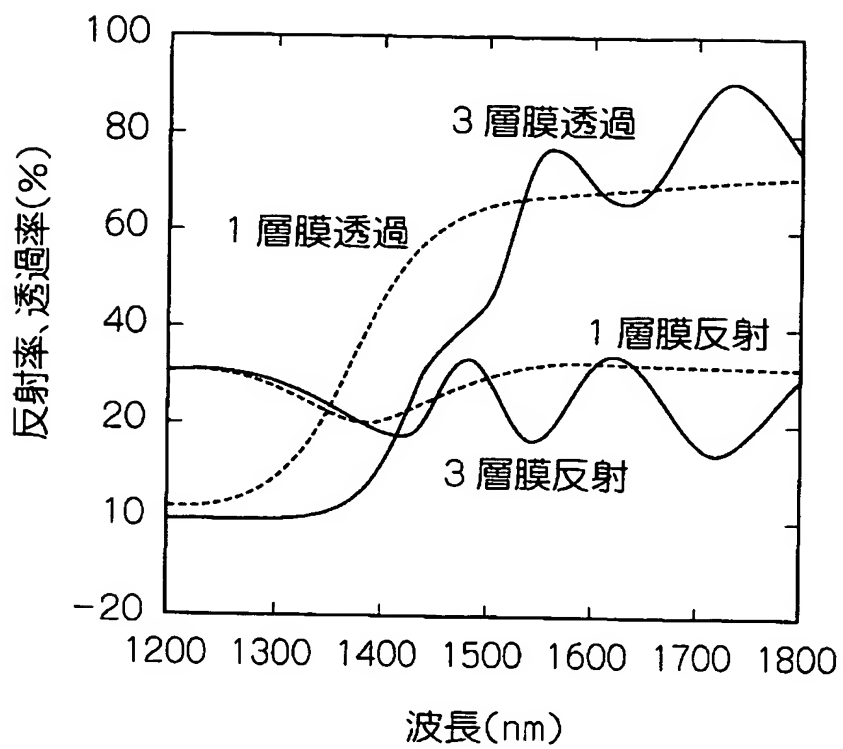
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 安価で製造容易等の特長を維持しながら、高いオン／オフ比を有し、汎用的な通信波長帯においても応答速度が速く、高い非線形性や高いスループットを実現できる光スイッチングデバイス、及びそれを用いた光学デバイスを、安価に、かつ容易な手段で提供することである。

【解決手段】 基板表面に、光制御部として少なくとも有機薄膜が形成され、該有機薄膜に信号光と制御光とを照射し光スイッチングを行う光スイッチングデバイスであって、前記光制御部である有機薄膜の吸収スペクトルにおける長波長側の共鳴近傍の領域に、前記信号光及び制御光の波長を設定し、該制御光により光制御部の屈折率の実部または実部及び虚部を変化させ、前記信号光に位相差を生じさせることにより光スイッチングを行うことを特徴とする光スイッチングデバイスである。

【選択図】 なし

特願 2 0 0 3 - 3 3 2 9 5 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 4 9 6]

1. 変 更 年 月 日

1 9 9 6 年 5 月 2 9 日

[変 更 理 由]

住 所 変 更

住 所

東 京 都 港 区 赤 坂 二 丁 目 1 7 番 2 2 号

氏 名

富 士 ゼ ロ ッ ク ス 株 式 会 社